

612.41242X00



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): HU, Lin-Ying
Serial No.: Not yet assigned
Filed: March 7, 2002
Title: METHOD FOR GRADUALLY DEFORMING AN INITIAL OBJECT DISTRIBUTION IN A HETEROGENEOUS MEDIUM, GENERATED BY SIMULATION OF AN OBJECT TYPE STOCHASTIC MODEL, TO BEST ADAPT IT TO IMPOSED PHYSICAL CONSTRAINTS
Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

March 7, 2002

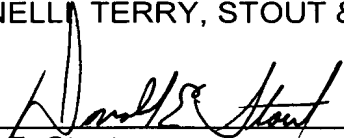
Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on French Patent Application No.(s) 01/03.194, filed March 7, 2001.

A certified copy of said French Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI TERRY, STOUT & KRAUS, LLP



Donald E. Stout
Registration No. 26,422

DES/alb
Attachment
(703) 312-6600

THIS PAGE BLANK (USPTO)



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 20 FEV. 2002

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30
www.inpi.fr

THIS PAGE BLANK (USPTO)



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Important Remplir impérativement la 2ème page.

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DE 540 W / 190600

| | | | |
|--|----------------------|--|---|
| REMISE DES PIÈCES DATE - 7 MARS 2001 LIEU 99 0103194 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI - 7 MARS 2001 | | 1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE 1 & 4 avenue de Bois Préau 92852 Rueil-Malmaison cedex | |
| Vos références pour ce dossier (facultatif) JC/CLN | | | |
| Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie | | | |
| 2 NATURE DE LA DEMANDE | | Cochez l'une des 4 cases suivantes | |
| Demande de brevet | | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Demande de certificat d'utilité | | <input type="checkbox"/> | |
| Demande divisionnaire | | <input type="checkbox"/> | |
| <i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i> | | N° | Date <input type="text"/> |
| | | N° | Date <input type="text"/> |
| Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i> | | <input type="checkbox"/> | N° <input type="text"/> Date <input type="text"/> |
| 3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) METHODE POUR DEFORMER GRADUELLEMENT UNE REPARTITION INITIALE D'OBJETS DANS UN MILIEU HETEROGENE, GENEREES PAR SIMULATION D'UN MODELE STOCHASTIQUE DE TYPE OBJET, POUR L'ADAPTER AU MIEUX A DES CONTRAINTES PHYSIQUES IMPOSEES | | | |
| 4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE | | Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite» | |
| 5 DEMANDEUR | | <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite» | |
| Nom ou dénomination sociale | | INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE | |
| Prénoms | | | |
| Forme juridique | | Organisme Professionnel | |
| N° SIREN | | | |
| Code APE-NAF | | | |
| Adresse | Rue | 1 & 4 avenue de Bois Préau | |
| | Code postal et ville | 92852 | Rueil-Malmaison cedex |
| Pays | | France | |
| Nationalité | | Française | |
| N° de téléphone (facultatif) | | 01 47 52 60 00 | |
| N° de télécopie (facultatif) | | 01 47 52 70 03 | |
| Adresse électronique (facultatif) | | | |



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

| | | | |
|--|----------------------|---|-----------------------|
| REMISE DES PIÈCES DATE - 7 MARS 2001 LIEU 99 N° D'ENREGISTREMENT 0103194 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI | | Réservé à l'INPI | |
| Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i> | | JC/CLN | |
| 6 MANDATAIRE | | | |
| Nom | | ELMALEH | |
| Prénom | | Alfred | |
| Cabinet ou Société | | INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE | |
| N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel | | | |
| Adresse | Rue | 1 & 4 avenue de Bois Préau | |
| | Code postal et ville | 92852 | Rueil-Malmaison cedex |
| N° de téléphone <i>(facultatif)</i> | | 01 47 52 60 00 | |
| N° de télécopie <i>(facultatif)</i> | | 01 47 52 70 03 | |
| Adresse électronique <i>(facultatif)</i> | | | |
| 7 INVENTEUR (S) | | | |
| Les inventeurs sont les demandeurs | | <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée | |
| 8 RAPPORT DE RECHERCHE | | Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) | |
| Établissement immédiat ou établissement différé | | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | |
| Paiement échelonné de la redevance | | Paiement en deux versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non | |
| 9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES | | Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :</i> | |
| Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes | | | |
| 10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Alfred ELMALEH, Chef du Département Brevets (N° 422-5/PP.253) | | VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI | |

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

La présente invention a pour objet une méthode pour déformer graduellement une répartition initiale d'objets de nature géologique, formée par simulation d'un modèle stochastique de type objet, d'après des mesures ou observations, pour l'adapter au mieux à des contraintes physiques imposées, de type hydrodynamique
5 par exemple.

La méthode selon l'invention trouve des applications dans la modélisation de zones souterraines où il s'agit de générer des représentations montrant comment est distribuée une certaine grandeur physique dans une zone du sous-sol (la perméabilité par exemple), qui soient compatibles au mieux avec des données observées ou
10 mesurées : données géologiques, enregistrements sismiques, mesures obtenues dans des puits notamment mesures des variations au cours du temps de la pression et du débit de fluides issus d'un gisement, etc.

ETAT DE LA TECHNIQUE

Par le brevet FR 2 780 798 du demandeur, on connaît une méthode pour
15 déformer graduellement un modèle stochastique (de type gaussien ou apparenté) d'un milieu hétérogène tel qu'une zone souterraine, contraint par un ensemble de paramètres relatifs à la structure du milieu. Cette méthode comporte le tirage d'un nombre p de réalisations (ou représentations) indépendantes du modèle ou d'une partie au moins du modèle choisi du milieu, parmi l'ensemble de toutes les
20 réalisations possibles et une ou plusieurs étapes itératives de déformation graduelle du modèle en effectuant une ou plusieurs combinaisons linéaires successives de p réalisations initiales indépendantes entre elles puis des réalisations composites successivement obtenues éventuellement avec de nouveaux tirages, etc., les coefficients de cette combinaison étant tels que la somme de leurs carrés est égale à
25 1.

Par le brevet FR 2 795 841 du demandeur, on connaît une autre méthode pour déformer graduellement les représentations ou réalisations, générées par simulation

séquentielle, d'un modèle stochastique non nécessairement gaussien d'une grandeur physique z dans un milieu hétérogène maillé, afin de les ajuster à un ensemble de données relatives à la structure ou l'état du milieu qui sont collectées par des mesures et observations préalables. La méthode comporte essentiellement l'application d'un
5 algorithme de déformation graduelle d'un modèle stochastique à un vecteur gaussien à N variables mutuellement indépendantes, qui est relié à un vecteur uniforme à N variables uniformes mutuellement indépendantes par la fonction de répartition gaussienne de façon à définir des réalisations du vecteur uniforme, et l'utilisation de ces réalisations pour générer des représentations de cette grandeur physique z , que
10 l'on cale par rapport aux données.

Les méthodes précédentes sont applicables aux modèles maillés (modèles de type pixel) qui conviennent pour modéliser des champs de grandeurs continues et, de ce fait, sont mal adaptés à la modélisation de zones traversées par des réseaux de fractures ou des systèmes de chenaux, par exemple.

15 Les modèles basés sur des objets sont des arrangements dans l'espace, d'une population d'objets définis géométriquement. A la base, un modèle de type objet est un modèle booléen que l'on peut définir comme une réunion d'objets identiques par nature, distribués au hasard dans l'espace. Les modèles booléens (de type objet) présentent un grand intérêt pour la description géométrique des milieux hétérogènes,
20 tels que les systèmes de dépôt méandriformes, les réseaux de fractures, les milieux poreux à l'échelle granulométrique, les milieux vacuolaires, etc. Les objets géologiques sont définis par leurs formes et leurs tailles. Leurs emplacements dans le champ sont définis en tenant compte de leurs interactions : attirance-répulsion, tendance au regroupement (clustering), etc.

25 Contrairement aux modèles de type pixel, les modèles basés sur des objets peuvent fournir par exemple des représentations géologiques réalistes d'un réservoir souterrain à un stade précoce où les données obtenues par des mesures in situ sont encore rares.

L'état de l'art dans le domaine des modèles de type objet, est décrit notamment dans les publications suivantes :

- Matheron, G., 1967, "Elément pour une théorie des milieux poreux", Masson, Paris;
- 5 - Matheron, G., 1975, "Random sets and integral geometry", Wiley, New York;
- Serra, J., 1982, "Image analysis and mathematical geology", Vol.1, Academic Press, London;
- Stoyan, D.S., et al., 1995, "Stochastic geometry and its applications", 2nd Edition, Wiley, Chichester;
- 10 - Lantuéjoul, C., 1997, Iterative algorithms for conditional simulations, in Baafi et others, eds.; Geostatistics Wollongong 96, Vol. 1, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, The Netherlands, p.27-40.

La position des objets dans un modèle de type objet est distribuée suivant un processus ponctuel de Poisson bien connu des spécialistes. La forme et la taille des
15 objets sont indépendantes de leurs positions. Ce modèle peut être généralisé par une combinaison d'objets de nature différente ou/et en utilisant un processus ponctuel de Poisson de densité non-stationnaire.

Bien que les modèles booléens aient été largement étudiés dans la littérature, on ne dispose pas de méthode cohérente et efficace pour contraindre ces modèles aux
20 données physiques, notamment aux données hydrodynamiques, ce qui est pourtant un enjeu majeur pour leur application en ingénierie de réservoir. Les méthodes de déformation graduelle des modèles stochastiques de réservoir de type pixel telles que décrites par exemple dans les deux brevets précités, ne sont pas directement utilisables pour les modèles booléens. Contraindre les modèles booléens aux données
25 hydrodynamiques par exemple requiert le développement des algorithmes cohérents pour la déformation et le déplacement des objets.

LA METHODE SELON L'INVENTION

La méthode selon l'invention permet de généraliser la technique de déformation graduelle décrite dans les deux brevets précités, aux modèles booléens stationnaires ou non-stationnaires et ceci avec ou sans contrainte géométrique aux puits. La méthode s'avère particulièrement utile notamment pour les ingénieurs de réservoir soucieux d'ajuster de façon cohérente et efficace les modèles de réservoir de type objet.

La méthode selon l'invention permet de déformer graduellement une réalisation initiale définissant la répartition d'un ensemble d'objets dans une zone d'un milieu hétérogène tel qu'une structure géologique, formée par simulation d'un modèle stochastique de type objet, les objets étant répartis dans la zone selon un processus ponctuel de Poisson sous forme de points figuratifs avec une densité de points $\lambda(x)$ qui varie en fonction de leur position (x) dans la zone. Elle comporte essentiellement les deux étapes suivantes :

- 15 - on génère une réalisation d'un vecteur aléatoire uniforme selon lequel la position de chaque objet est définie tout en respectant la densité $\lambda(x)$; et
- on modifie graduellement le vecteur aléatoire uniforme selon une procédure de déformation graduelle, pour obtenir la migration graduelle de chaque objet et par conséquent le changement graduel de la répartition des objets dans la zone, jusqu'à obtenir une réalisation finale ajustée au mieux à des paramètres relatifs à la structure du milieu tels que des paramètres hydrodynamiques.

Il est possible de limiter la migration des points figuratifs d'objets dans un sous-domaine de la zone (un puits traversant la zone par exemple) en imposant une densité de points nulle dans la partie complémentaire du sous-domaine.

25 Suivant un mode de mise en œuvre, on passe graduellement d'une réalisation contenant un premier ensemble de N_1 points à une réalisation contenant un

deuxième ensemble de N_2 points en construisant une chaîne $N(t)$ de nombres de Poisson entre les deux nombres N_1 et N_2 en utilisant la procédure de déformation graduelle.

Il est possible aussi de modifier graduellement la taille, la forme et l'orientation d'un objet au cours de sa migration en utilisant la procédure de déformation graduelle.

En cas où elle est entachée d'incertitude, il est possible aussi d'ajuster graduellement la densité de points $\lambda(x)$ en utilisant la procédure de déformation graduelle.

10

PRESENTATION SOMMAIRE DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, en se référant aux dessins annexés où :

- la Fig.1A, 1B montrent respectivement une fonction de densité d'un processus ponctuel de Poisson non-stationnaire et une réalisation du processus ponctuel de Poisson non-stationnaire générée par la méthode séquentielle ;
- les Fig.2A à 2D montrent différents exemples de trajectoires de migration graduelle entre deux points d'un processus ponctuel de Poisson non-stationnaire ;
- les Fig.3A à 3H montrent différentes étapes successives d'une réalisation du processus ponctuel de Poisson non-stationnaire lors de la migration graduelle des points ;
- la Fig.4 montre les domaines possibles de migration d'un disque dans le cas de trois points conditionnant ;

- la Fig.5 montre à titre d'exemple, une chaîne complète de réalisations successives d'une simulation booléenne d'objets elliptiques où le paramètre de déformation t varie entre $-\pi$ et π par pas $\Delta t = 0.1\pi$; et
- la Fig.6 montre à titre d'exemple, une chaîne incomplète de réalisations successives d'une simulation booléenne d'objets elliptiques où le paramètre de déformation t varie entre 0 et 0.2π par pas $\Delta t = 0.01\pi$.

DESCRIPTION DETAILLEE

Généralités

Les objets géologiques auxquels la méthode s'applique sont par exemple des fractures à plus ou moins grande échelle, à l'intérieur d'une zone réservoir, ou bien encore des chenaux. La méthode peut s'appliquer également à des structures granulaires ou vacuolaires de taille beaucoup plus réduite. Tous ces objets sont difficiles à modéliser par des modèles de type pixel.

Les opérations de migration progressive qui vont être décrites, s'appliquent à un modèle initial où les positions des objets sont représentés par des configurations de points (dites processus ponctuels). La répartition de ces points varie en densité en fonction de leurs positions dans la zone modélisée. Cette répartition est basée sur différentes données connues par mesures ou observations : mesures géomécaniques obtenues dans des puits par exemple, données sismiques issues d'opérations sismiques préalables.

Partant de ce modèle initial, la méthode va permettre de déformer graduellement la répartition initiale suivant une série de règles, de manière que dans la répartition finale, le modèle soit optimisé pour mieux correspondre à des contraintes que l'on impose sur un ou plusieurs paramètres physiques, telle que par exemple une distribution de valeurs de perméabilité. Les règles de migration sont

telles que l'on peut déplacer globalement un grand nombre de points différents du modèle à partir d'un nombre réduit de paramètres de contrôle.

En général, on définit une fonction objectif qui mesure la différence entre les paramètres physiques issues du milieu hétérogène réel et ceux simulés sur une réalisation du modèle stochastique. La valeur de la fonction objectif dépend donc des paramètres de contrôle du modèle stochastique. On obtient les valeurs de ces paramètres de contrôle par minimisation de la fonction objectif.

Rappel sur le processus ponctuel de Poisson

Le processus ponctuel de Poisson est un ensemble aléatoire dénombrable de points répartis dans tout espace \mathcal{R}^n . Cet ensemble de points a les caractéristiques suivantes:

Soit D un domaine de \mathcal{R}^n . Si le volume de D , noté $|D|$, est fini, alors le nombre de points tombés dans D , noté $N(D)$, suit une loi de Poisson de paramètre $\lambda|D|$. Soit

$$P[N(D) = n] = e^{-\lambda|D|} \frac{(\lambda|D|)^n}{n!} \quad \forall n \geq 0 \quad (1)$$

où λ est appelée la densité du processus ponctuel; elle mesure le nombre moyen de points tombés dans un domaine de volume unitaire de \mathcal{R}^n .

Soient D_1, D_2, \dots, D_k des domaines de \mathcal{R}^n disjoints deux à deux, alors les nombres de points tombés dans ces domaines $N(D_1), N(D_2), \dots, N(D_k)$ sont des variables aléatoires mutuellement indépendants.

Conditionnellement à $N(D) = n_p$, ces n_p points sont indépendants et uniformément répartis dans D .

Dans ce qui suit, nous nous intéressons au processus ponctuel de Poisson dans le domaine borné D .

Migration d'un processus ponctuel de Poisson stationnaire

5 Considérons le problème de migration d'une réalisation d'un processus ponctuel de Poisson stationnaire dans D rectangulaire. Afin d'alléger la présentation, on admet que D est un hyper cube unitaire $[0,1]^n$ à n dimensions. Soient x_1 et x_2 deux points indépendants uniformément tirés dans $[0,1]^n$. Nous définissons une trajectoire entre x_1 et x_2 par

$$x(t) = G[G^{-1}(x_1)\cos t + G^{-1}(x_2)\sin t] \quad (2)$$

10 où G est la fonction de répartition gaussienne centrée et réduite. Selon l'algorithme de déformation graduelle décrit dans le brevet FR 2 780 798 précité, pour tout t , $x(t)$ est un point uniforme dans $[0,1]^n$. Quand les deux points sont fixés, la trajectoire de la migration graduelle entre eux est entièrement déterminée. Le changement d'emplacement d'un des deux points changera la trajectoire de migration.

15 On peut montrer que la trajectoire définie par l'équation (2), est symétrique par rapport au centre du domaine $[0,1]^n$, et ceci quel que soit le nombre de dimensions n . Cela suggère que même si les deux points sont isolés dans un coin/côté du domaine, la trajectoire de la migration graduelle entre eux peut toujours atteindre la partie opposée du domaine.

20 Migration d'un processus ponctuel de Poisson non-stationnaire

On considère maintenant le processus ponctuel de Poisson dans un domaine D de densité $\lambda(x)$ de forme générale. Le nombre de points dans D est une variable aléatoire de Poisson de moyenne $\lambda(D) = \int_D \lambda(x) dx$. Ces points sont distribués indépendamment dans D suivant la fonction de densité de probabilité :

$$f(x) = \lambda(x) / \lambda(D) \quad x \in D \quad (3)$$

La simulation d'un processus ponctuel de Poisson de densité $\lambda(x)$ dans D peut se réaliser en deux étapes:

- générer un nombre n selon la loi de Poisson de moyenne égale à $\lambda(D)$, puis
- 5 - générer n points dans D indépendamment les uns des autres selon la même densité de probabilité $f(x)$.

On peut voir sur l'exemple de la Fig.1A une fonction de densité, et sur celui de la Fig.1B, une réalisation de processus ponctuel de Poisson de densité $\lambda(x)$.

Si on simule la loi $f(x)$ par l'inversion de sa fonction de répartition, le point
 10 x correspond alors à un vecteur uniforme u . On peut donc appliquer l'algorithme de migration graduelle au processus ponctuel de Poisson de densité $\lambda(x)$. Par construction, cette méthode préserve la densité et le nombre de points du processus initial. Les Fig.2A à 2D montrent quatre exemples de trajectoire de migration.

Prenons l'exemple du processus ponctuel de Poisson non-stationnaire dans un
 15 domaine en deux dimensions $D = [0,1]^2$ dont la densité est linéairement croissante dans l'axe X et constante dans l'axe Y . Soit (x, y) le vecteur des coordonnées d'un point dans D de ce processus. Alors (x, y) admet la densité de probabilité bivariable :

$$f(x, y) = 2x, \quad (x, y) \in [0,1]^2. \quad (4)$$

20 La simulation d'un point selon la loi (4) précédente est simple:

- générer l'abscisse x selon la densité linéaire $f(x) = 2x$, puis
- générer l'ordonnée y uniformément entre 0 et 1. Soient

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{u} \\ y &= v \end{aligned} \quad (5)$$

où u et v sont deux nombres indépendants et uniformes entre 0 et 1.

Nous pouvons ainsi appliquer l'algorithme de migration graduelle (2) au vecteur uniforme (u, v) afin d'établir une trajectoire de migration du point (x, y) dans D .

En pratique, la fonction de densité $\lambda(x)$ est souvent sous forme de grille. A titre d'exemple, on considère le cas d'une grille en 2 dimensions de $M \times N$ nœuds. Soient x_i et y_j les coordonnées du nœud (i, j) . La loi marginale de x_i est alors :

$$f(x_i) = \sum_{j=1}^N f(x_i, y_j) \quad (6)$$

et la loi conditionnelle de y_j sachant x_i vaut :

$$f_{x_i}(y_j) = f(x_i, y_j) / f(x_i) \quad (7)$$

A partir de ces lois de probabilité monovariées, il est aisé de générer les points du processus de Poisson de densité $\lambda(x)$ sur une grille.

Afin d'illustration, nous avons construit une fonction de densité en deux dimensions à partir d'une simulation gaussienne centrée et réduite. Le variogramme est anisotrope et de type gaussien. Les directions principales d'anisotropie sont diagonales par rapport au système des coordonnées. Les facteurs d'échelle dans les directions principales d'anisotropie sont de 0.3 et 0.1 respectivement. La taille du champ est de 1×1 et il est discrétisé en 1000×1000 pixels. Les nombres gaussiens sont transformés en nombres positifs selon l'expression suivante :

$$\lambda(x) = 400e^{\sqrt{3}Y(x)} \quad (8)$$

où $Y(x)$ est la simulation gaussienne. La Fig. 1A montre la fonction de densité ainsi construite. La figure 1B montre une réalisation de processus ponctuel de Poisson

admettant la fonction de densité de la Fig 1A. 2000 points sont générés selon la méthode séquentielle.

Les Fig.3A à 3H illustrent l'évolution d'une réalisation du processus de Poisson lors de la migration graduelle des points. On peut constater qu'au cours de la migration, la densité de points est respectée.

Migration d'objets de simulations booléennes conditionnelles

La méthode ci-dessus peut être immédiatement appliquée à la migration d'un domaine S de forme quelconque dans D . En fait, la migration d'un point dans S peut être réalisée dans D en utilisant la fonction de densité de probabilité tronquée :

$$f_S(x) = \lambda(x) \mathbf{1}_{x \in S} / \lambda(S), \quad x \in D, \quad S \subset D. \quad (9)$$

Par l'algorithme d'itération markovienne décrit dans la référence à Lantuéjoul, 1997, on peut simuler un modèle booléen dans un domaine D sachant que deux sous-ensembles C_1 et C_0 de D appartiennent respectivement à l'union des objets et à son complément. Ensuite, les algorithmes de migration dans un domaine quelconque peuvent être utilisés pour la déformation graduelle des simulations booléennes conditionnées par des données géométriques des puits. En effet, à partir d'une simulation booléenne conditionnelle et sans compromettre le conditionnement par C_1 et C_0 , les objets doivent se déplacer uniquement dans leurs domaines respectifs définis selon les formes des objets et la configuration de C_1 et C_0 .

Considérons un objet A d'une réalisation booléenne conditionnelle, qui inclut un sous-ensemble C_{1A} de C_1 et exclut C_0 . Si lors de la migration de A , il doit toujours inclure C_{1A} mais exclure C_0 , le domaine autorisé de migration de l'objet A est:

$$D_A = \{x : C_0 \cap A_x = \emptyset; C_{1A} \subset A_x\} \quad (10)$$

La Fig. 4 montre un cas avec trois points conditionnant et les huit domaines possibles de migration d'un disque. Si par exemple le disque doit toujours couvrir les points (a) et (b) mais éviter le point (c), alors son centre peut se déplacer seulement dans le domaine 3.

5 Migration avec apparition et disparition de points

Le nombre de points dans D d'un processus ponctuel suit une loi de Poisson de paramètre $\lambda(D)$. Il est donc nécessaire de faire varier le nombre de points dans D au cours de leur migration. Dans cette section, nous présentons d'abord deux méthodes pour construire des chaînes de nombres poissonniens, et ensuite nous
10 verrons comment migrer entre deux ensembles de points dont les cardinaux ne sont pas identiques.

Nous cherchons à construire une chaîne de nombres poissonniens entre deux nombres poissonniens N_1 et N_2 , générés indépendamment par l'inversion de la fonction de répartition. Soient U_1 et U_2 deux nombres uniformes (entre 0 et 1)
15 indépendants à partir desquels sont obtenus les nombres N_1 et N_2

$$\begin{aligned} N_1 &= F^{-1}(U_1) \\ N_2 &= F^{-1}(U_2) \end{aligned} \quad (11)$$

où F^{-1} désigne la fonction de répartition inverse de la loi de Poisson. Selon l'algorithme de déformation graduelle, nous pouvons construire une chaîne de nombres uniformes entre U_1 et U_2 par

$$20 \quad U(t) = G[G^{-1}(U_1)\cos t + G^{-1}(U_2)\sin t]. \quad (12)$$

En inversant la fonction de répartition de la loi de Poisson, on obtient une chaîne de nombres poissonniens

$$N(t) = F^{-1}[U(t)]. \quad (13)$$

Le calcul de la fonction de répartition inverse peut s'effectuer par dichotomie. Néanmoins, si le paramètre de la loi de Poisson est trop grand, cette méthode reste quelque peu coûteux.

Pour éviter le calcul de la fonction de répartition inverse de la loi de Poisson, on peut envisager une autre façon de générer les nombres poissoniens. On sait que le nombre de sauts, d'un processus de Poisson de paramètre unité, dans un segment de longueur λ , suit précisément une loi de Poisson de paramètre λ . Simuler un processus de Poisson est chose simple. En effet, les intervalles entre deux sauts consécutifs du processus sont indépendants et suivent la loi exponentielle de paramètre 1. En déformant graduellement les segments exponentiels, on obtient une chaîne de nombres poissoniens. Il est aisé de construire une chaîne de nombres exponentiels, car le calcul de la fonction de répartition inverse de la loi exponentielle est simple. On rappelle ici que la fonction de répartition de la loi exponentielle de paramètre 1 s'écrit

$$F(s) = 1 - e^{-s}, \quad s > 0 \quad (14)$$

et sa fonction inverse s'écrit :

$$F^{-1}(u) = -\ln(1-u), \quad 0 < u < 1. \quad (15)$$

Toujours est-il que, comme le nombre de sauts dans le segment de longueur λ est en moyenne égal à λ , le nombre de chaînes de nombres exponentiels est en moyenne proche de λ .

Considérons maintenant la migration d'un ensemble de N_1 points (ensemble 1) à un ensemble de N_2 points (ensemble 2). Comme $N_1 \neq N_2$, la migration de l'ensemble 1 à l'ensemble 2 implique nécessairement l'apparition ou la disparition de certains points. Le nombre de points à apparaître ou à disparaître est déterminé par la

chaîne de nombres poissoniens entre N_1 et N_2 . L'algorithme de migration est le suivant :

- a) Calculer le nombre maximal N_{\max} de la chaîne $N(t)$.
- b) Compléter l'ensemble 1 de $N_{\max} - N_1$ points et l'ensemble 2 de $N_{\max} - N_2$
5 points.
- c) Pour chaque ensemble, classer les points de 1 à N_{\max} . Tous les points initiaux sont classés au début.
- d) Calculer la trajectoire de migration du point n de l'ensemble 1 au point n de l'ensemble 2. ($n = 1, 2, \dots, N_{\max}$)
- 10 e) A chaque état t de l'ensemble, supprimer les $N_{\max} - N(t)$ derniers points.

REVENDECATIONS

- 1) Méthode pour déformer graduellement une réalisation initiale formée d'après des mesures ou observations et définissant la répartition d'un ensemble d'objets dans une zone d'un milieu hétérogène tel qu'une structure géologique, générée par simulation d'un modèle stochastique de type objet, les objets étant répartis dans la zone suivant un processus ponctuel de Poisson sous forme de points figuratifs avec une densité de points $\lambda(x)$ qui varie en fonction de leur position (x) dans la zone, caractérisée en ce que :
- 10 - on génère une réalisation d'un vecteur aléatoire uniforme selon lequel la position de chaque objet est définie tout en respectant la densité $\lambda(x)$; et
 - on modifie graduellement le vecteur aléatoire uniforme selon une procédure de déformation graduelle, pour obtenir la migration graduelle de chaque objet et par conséquent le changement graduel de la répartition des objets dans la zone, jusqu'à obtenir une réalisation finale ajustée au mieux à des paramètres relatifs à la structure du milieu tels que des paramètres hydrodynamiques.

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'on limite la migration des points figuratifs d'objets dans un sous-domaine de la zone en imposant une densité de points nulle dans la partie complémentaire du sous-domaine.

- 20 3) Méthode selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que l'on passe graduellement d'une réalisation contenant un premier ensemble de N_1 points à une réalisation contenant un deuxième ensemble de N_2 points en construisant une chaîne $N(t)$ de nombres de Poisson entre les deux nombres N_1 et N_2 en utilisant la procédure de déformation graduelle.

4) Méthode selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que l'on modifie graduellement la taille, la forme et l'orientation d'un objet au cours de sa migration en utilisant la procédure de déformation graduelle.

5) Méthode selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'on
5 ajuste graduellement la densité de points $\lambda(x)$ en utilisant la procédure de déformation graduelle.

1/5

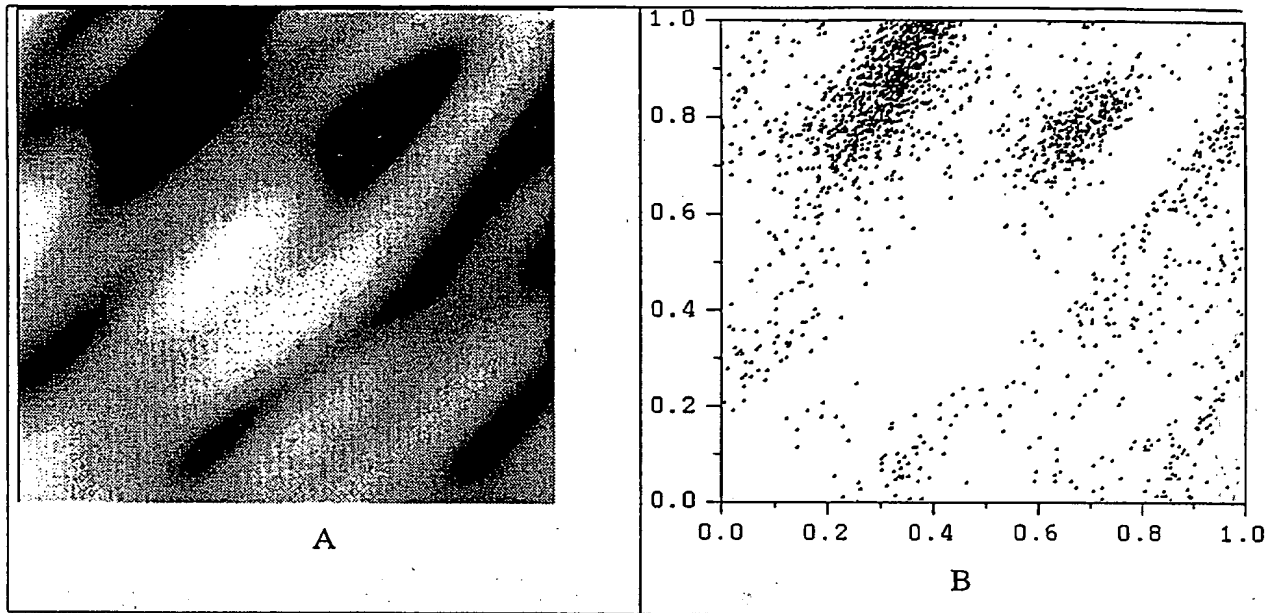


Fig.1A

Fig.1B

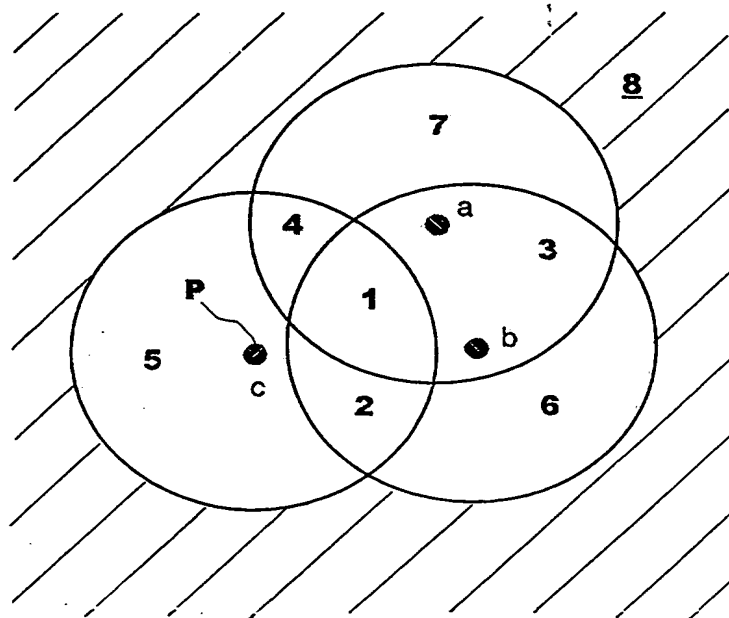


Fig.3

Fi.2A

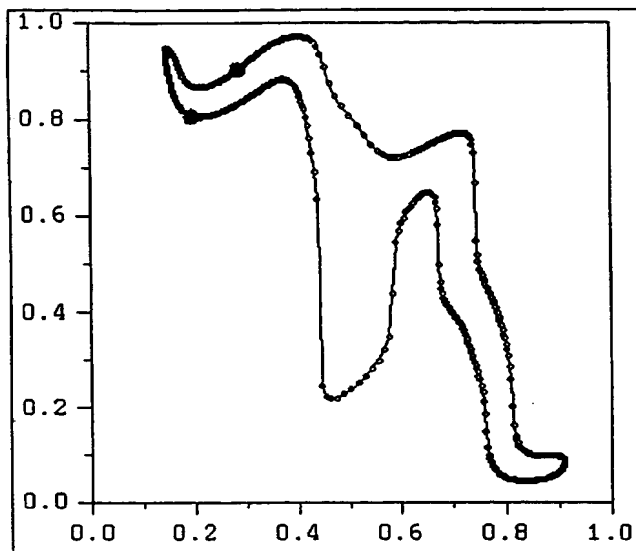


Fig.2B

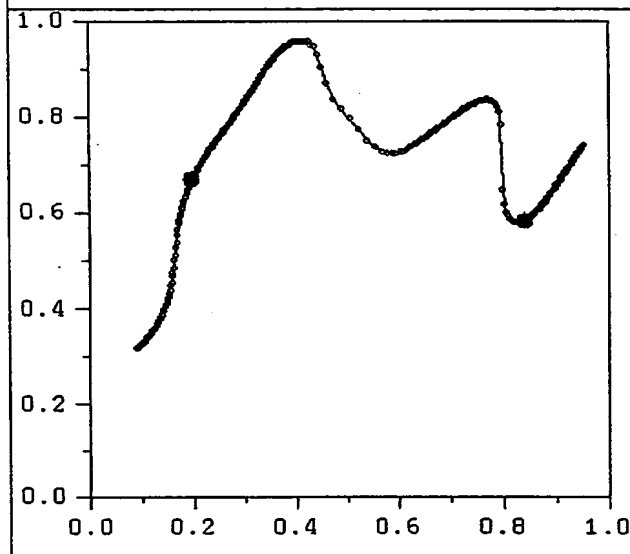
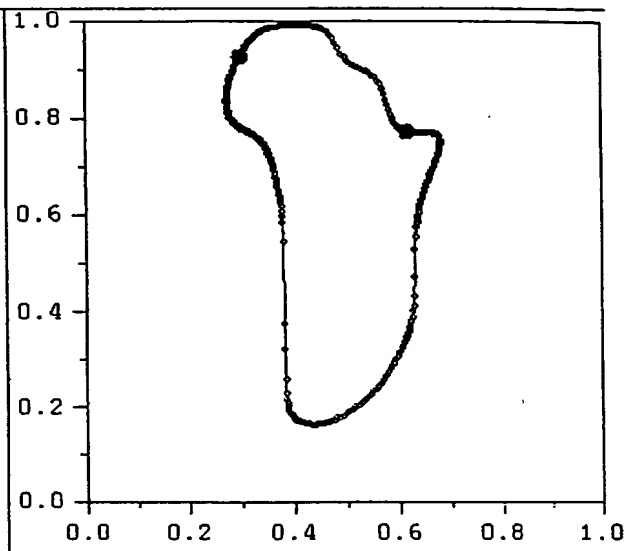


Fig.2C

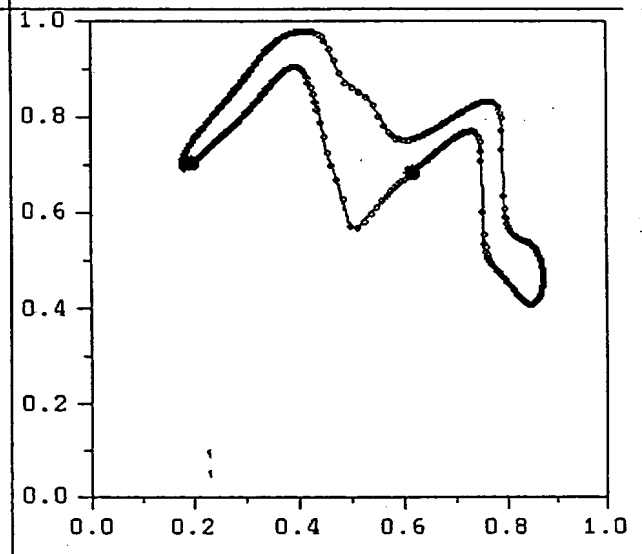


Fig.2D

3/5

Fig.4A

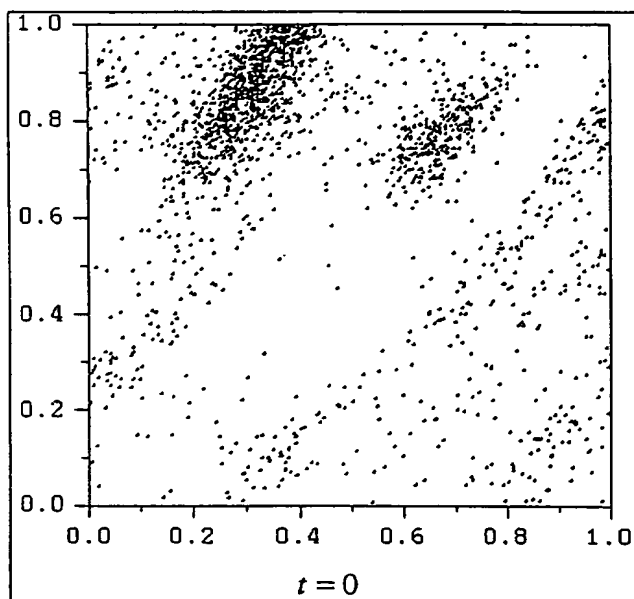


Fig.4B

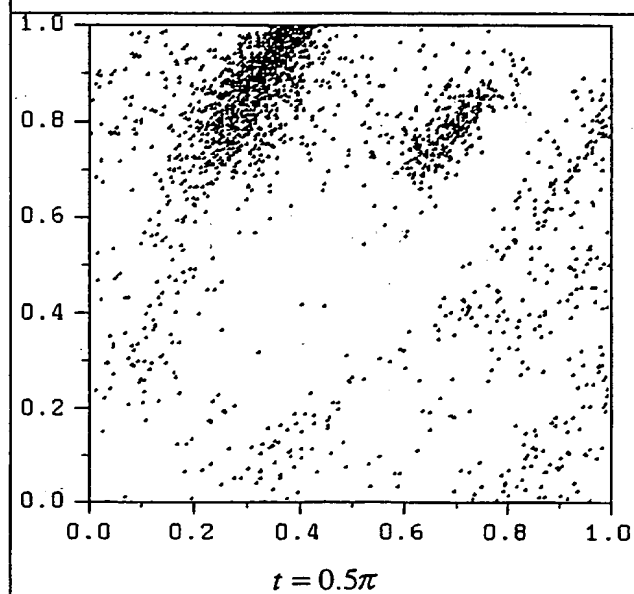
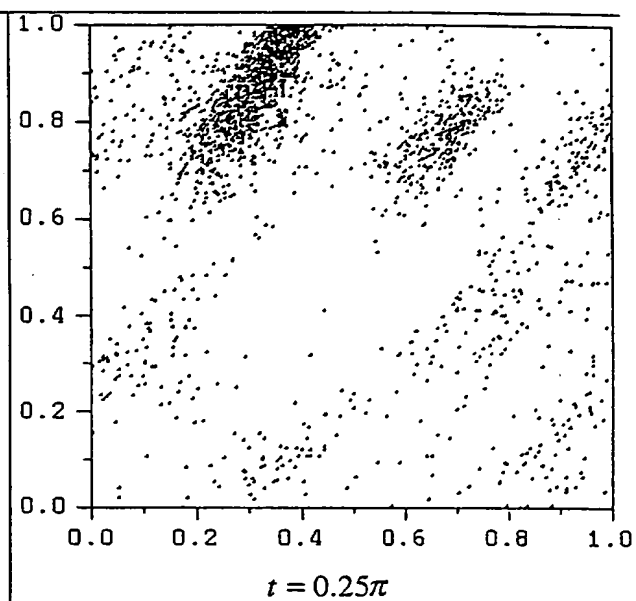


Fig.4C

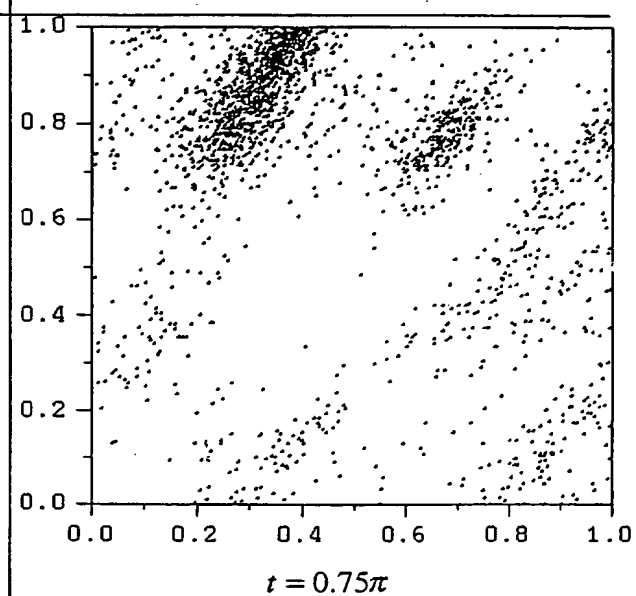
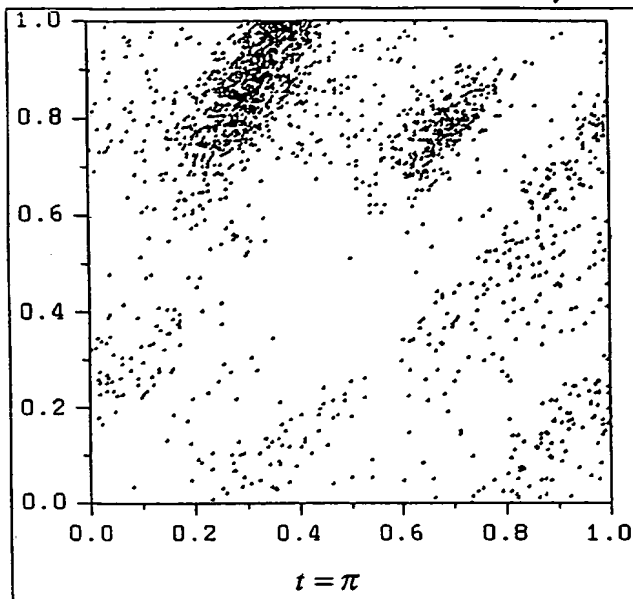
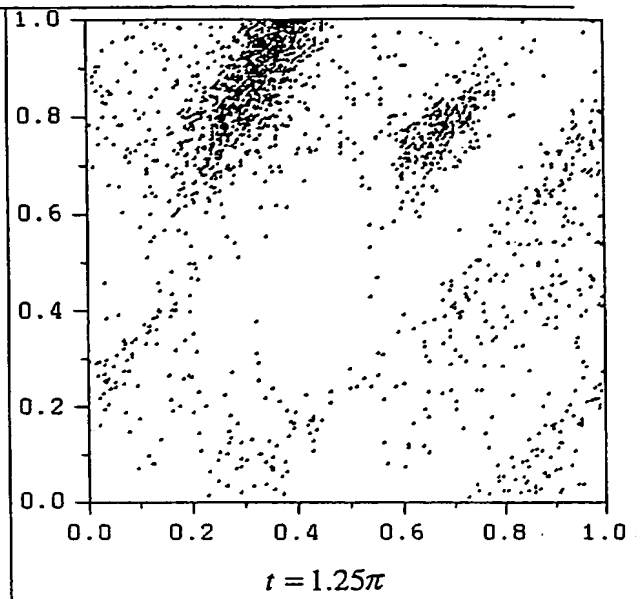
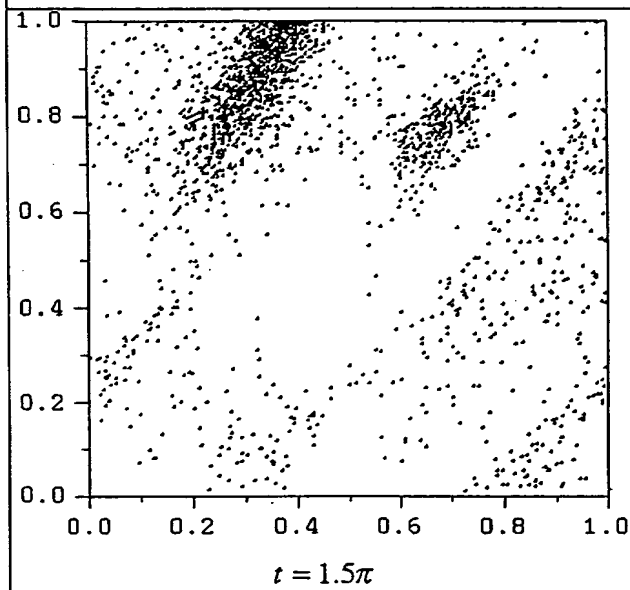
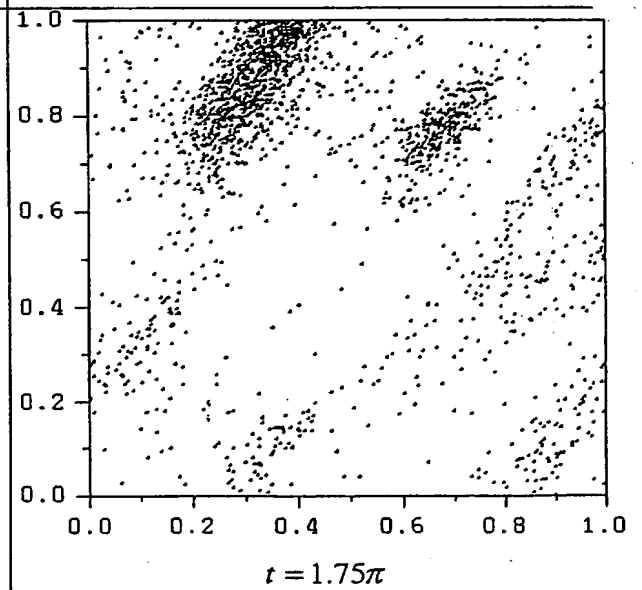


Fig.4D

**Fi.4E****Fig.4F****Fig.4G****Fig.4H**

5/5

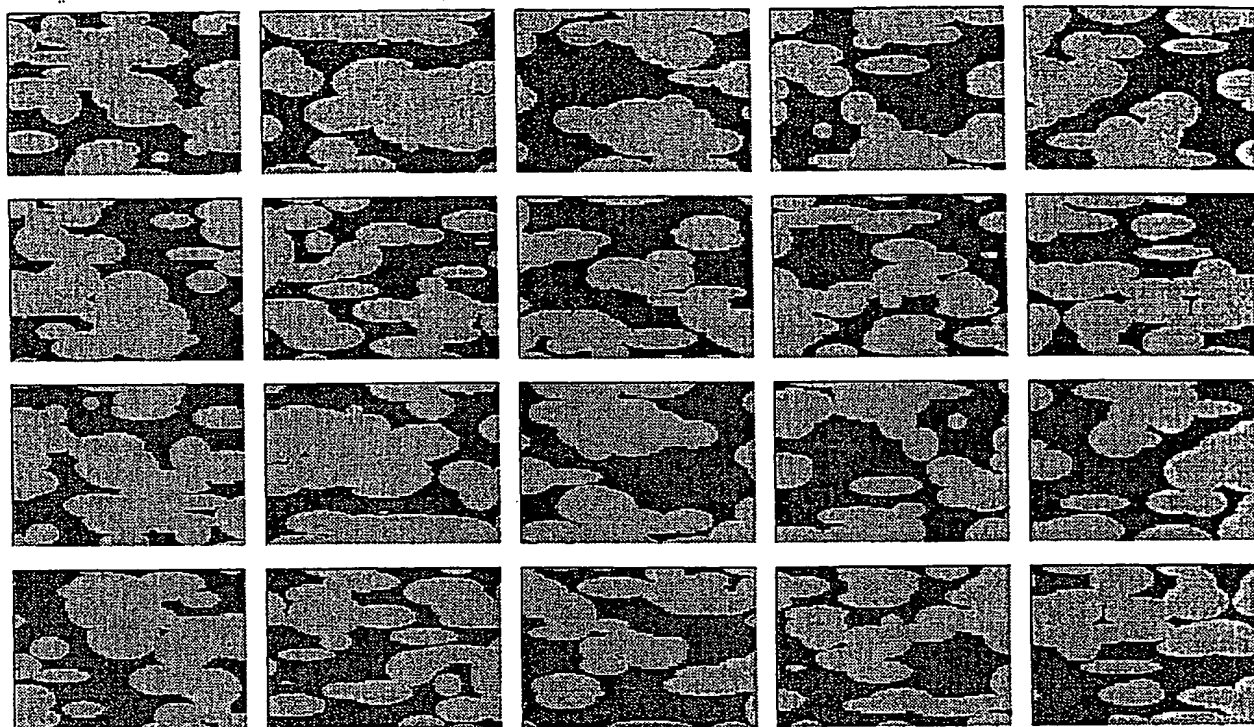


Fig.5

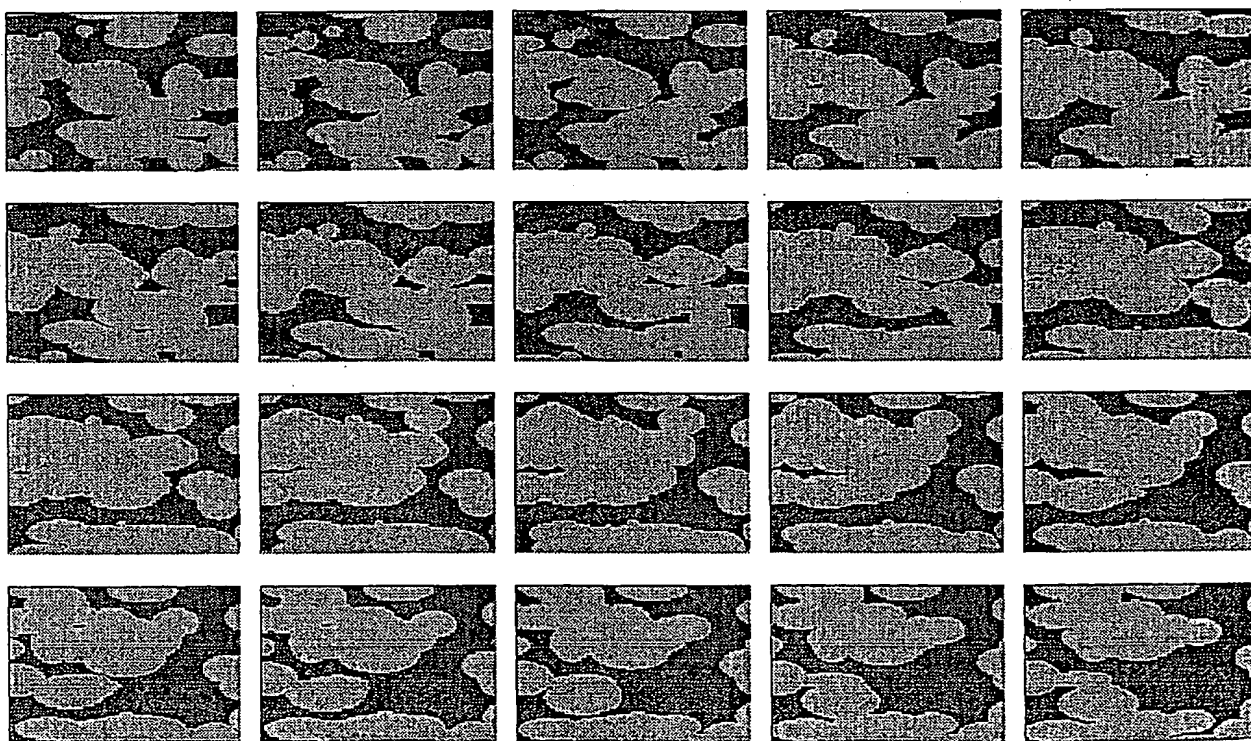


Fig.6

**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11 235°02

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.. / 1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

| | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Vos références pour ce dossier (facultatif) | | JC/CLN | |
| N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL | | 0203104 | |
| TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) | | | |
| METHODE POUR DEFORMER GRADUELLEMENT UNE REPARTITION INITIALE D'OBJETS DANS UN MILIEU HETEROGENE, GENEREE PAR SIMULATION D'UN MODELE STOCHASTIQUE DE TYPE OBJET, POUR L'ADAPTER AU MIEUX A DES CONTRAINTES PHYSIQUES IMPOSEES | | | |
| LE(S) DEMANDEUR(S) : INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE | | | |
| DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages). | | | |
| Nom | | HU | |
| Prénoms | | Lin Ying | |
| Adresse | Rue | 54 rue de la Chapelle | |
| | Code postal et ville | 92500 | Rueil-Malmaison |
| Société d'appartenance (facultatif) | | | |
| Nom | | | |
| Prénoms | | | |
| Adresse | Rue | | |
| | Code postal et ville | | |
| Société d'appartenance (facultatif) | | | |
| Nom | | | |
| Prénoms | | | |
| Adresse | Rue | | |
| | Code postal et ville | | |
| Société d'appartenance (facultatif) | | | |
| DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Alfred ELMALAH, Chef du Département Brevets (N° 422-5/PP.253) | | | |